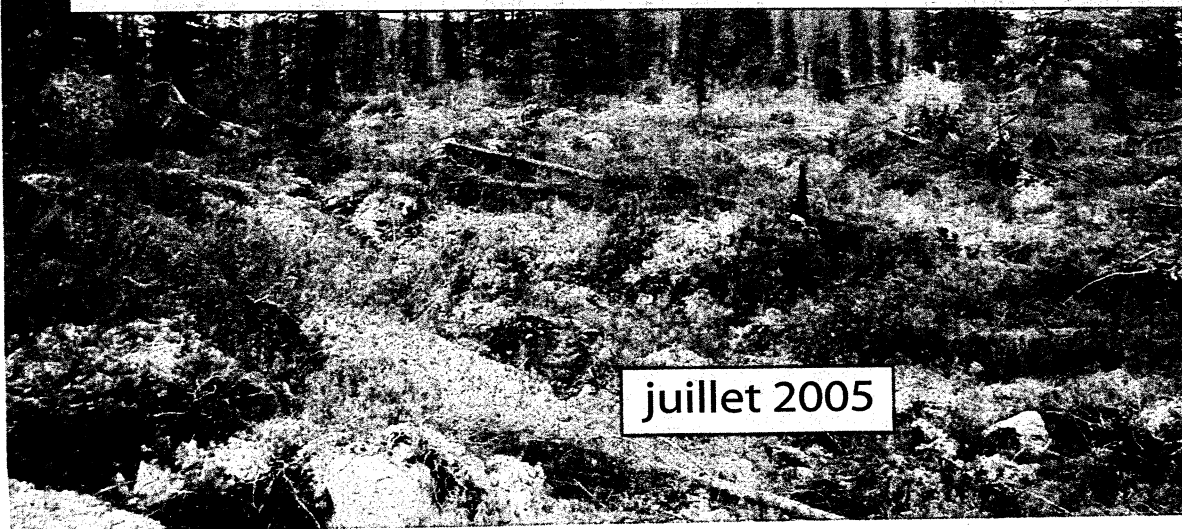


# **Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches dans la pessière à mousses du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Chibougamau-Chapais : Résultats 3 ans après plantation**

François Hébert, M. Sc.  
Pascal Tremblay, B.Sc.  
Jacques Allaire, Agr.  
Denis Walsh, M. Sc.  
Daniel Lord, Ph. D.  
Université du Québec à Chicoutimi

*Collaborateur*

Damien Côté, M. Sc.  
Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune  
Québec



juillet 2005



**UQAC**  
Université du Québec  
à Chicoutimi

**SECHES DANS LA PESSIERE A MOUSSES DU SAGUENAY-LAC-SAINT-  
JEAN, CHIBOUGAMAU CHAPAIS :  
RÉSULTATS 3 ANS APRÈS PLANTATION**

Par :

François Hébert, M. Sc.

Pascal Tremblay, B. Sc.

Jacques Allaire, Agr.

Denis Walsh, M. Sc.

Daniel Lord Ph. D.

Université du Québec à Chicoutimi

555, boul. Université

Chicoutimi, Québec

G7H 2B1

Tel. : (418) 545-5011 poste 5064

Collaborateur :

Damien Côté, M. Sc.

Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Chibougamau-Chapais

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune

3950, boul. Harvey

Jonquière, Québec

G7X 8L6

Tel. : (418) 695-8125

Juillet 2005



Nous tenons à remercier Damien Côté du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) région 02 pour son initiative et son support dans le cadre de ce projet. Nous remercions aussi tous les intervenants du MRNF secteur forêt soit : Gervais Rhéault (UG 26), Ghyslain Groleau (UG 27), Martin Parent (UG 22), et Claude Dussault du MRNF, secteur faune. Nous remercions tous les partenaires industriels soit : Éric Rousseau (COOP forestière de Laterrière), Luc Bolduc et Daniel Pelletier (COOP forestière de Girardville), Alain Réhaume (COOP forestière de Chapais-Chibougamau), Alain Tremblay (COOP forestière de Petit-Paris), Michel Belleau (Abitibi-Consolidated), Jean-François Côté (Bowater), Chantiers Chibougamau Ltée, Barette-Chapais Ltée et Pierre Mathieu à titre de forestier conseil. Finalement, nous tenons à remercier Daniel Gagnon, Technicien horticole (UQAC) pour la production des plants de cette expérience et tous les étudiants de premier et deuxième cycle de l'UQAC ayant contribué à la réalisation de ce projet.



Au sein de la pessière noire à mousses fermée de la forêt boréale commerciale, on retrouve des forêts ouvertes d'étendue variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans les domaines de la pessière à lichens et de la toundra forestière. Ces milieux ouverts de stations sèches (souvent appelés dénudés secs) sont caractérisés par un couvert arborescent d'arbres épars, principalement d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), parfois accompagné de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), et dont la densité du couvert est inférieure à 40 % et d'une strate arbustive composée de lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* associé à des plantes arbustives de la famille des éricacées. L'ouverture de ces milieux serait e à une succession de perturbations naturelles en rafales, qui empêche l'établissement de la régénération. Étant donné que la croissance des arbres dans ces milieux ouverts est comparable à celle des pessières fermées, la remise en production de ces milieux semblait envisageable. Les objectifs du projet étaient de tester la réaction des plantations (survie et croissance) dans des milieux ouverts créés naturellement au sein de forêts fermées de ce domaine. Deux facteurs sont aussi étudiés simultanément, soit l'effet de différents modes de préparation de terrain et l'utilisation de différents gabarits de semis d'épinette noire. Trois préparations de terrain furent testées dans les milieux ouverts à station sèche (DS) soit : le scarifiage, la taupe et sans préparation. La réponse des plants dans les DS a été comparée à une plantation réalisée dans une pessière à mousses récoltée et scarifiée. Deux gabarits de plants furent testés, soit ceux produits en récipient de 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup> et ceux produits en récipient de 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>. Des mesures morphologiques ont été faites pour chaque plant récolté.

Le scarifiage dans les DS est la préparation de terrain qui a permis d'obtenir les meilleurs taux de survie et de croissance (hauteur, diamètre, biomasse totale, aérienne et racinaire) trois ans après plantation. La teneur en nutriments foliaires était aussi supérieure dans les plants des parcelles scarifiées. La meilleure croissance dans les parcelles scarifiées pourrait être la résultante d'une augmentation de charge radiative du sol causée par ce traitement et qui stimule la croissance racinaire et l'absorption de nutriments en plus d'améliorer les fonctions hydriques. Le faible niveau de perturbation créé par la taupe n'a provoqué qu'une augmentation du taux de survie par rapport aux plants des parcelles sans préparation. La croissance et la survie des plants, trois ans après plantation (deux ans pour la survie), étaient comparables entre les parcelles scarifiées des deux milieux (DS et pessière à mousses (PM) malgré une légère différence de productivité en faveur des PM. Cette différence de productivité pourrait être liée au niveau de perturbation supérieure des parcelles scarifiées des PM qui furent récoltées avant le scarifiage, niveau de perturbation qui est positivement corrélé au contrôle de la végétation compétitive. Les plants de gabarit 126-25 ont montré des taux relatifs de croissance supérieurs aux



DS représentent un potentiel de productivité inexploité qui mériterait une attention particulière.





REMERCIEMENTS .....	ii
RÉSUMÉ .....	iii
TABLES DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES FIGURES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
INTRODUCTION .....	10
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	15
Dispositif expérimental.....	15
Matériel végétal.....	19
Échantillonnage .....	19
Analyses statistiques .....	20
RÉSULTATS .....	22
DISCUSSION .....	36
Impact des préparations de terrain dans les DS .....	36
Comparaison entre les DS scarifiés et les PNM aménagées .....	38
Comparaison entre les deux gabarits de plants .....	40
CONCLUSION.....	42
RÉFÉRENCES.....	45



Figure 1 : Localisation des 7 sites et des 19 blocs du dispositif. .... 17

Figure 2 : Exemple de la disposition des parcelles et sous parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif. .... 18

Figure 3 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable de la biomasse sèche totale des plants récoltés trois ans après plantation. Abréviations : SpDS = sans préparation dans dénudé sec (DS), TaDS = taupé dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = Scarifié dans une pessière noire à mousses aménagée, 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 368 pour 126-25, n = 378 pour 67-50)..... 25

Figure 4 : Effets de l'interaction Prép./terrain\*Gabarit sur les variables hauteur totale et de diamètre au collet des plants récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées en figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 95 pour TaDS-67-50, TaDS-126-25, ScDS-67-50, SpDS-67-50, n = 94 pour ScDS-126-25, ScPM126-25, n = 93 pour ScPM-67-50 et n = 88 pour SpDS-126-25)..... 26

Figure 5: Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable ratio biomasse racinaire/biomasse aérienne (ratio rac/tige) des plants d'EPN récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées à la figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50)..... 28

Figure 6 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) des plants récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées à la figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50)..... 29



relatifs de croissance (TRC) pour les trois années de croissance suivant la plantation des plants d'EPN en récipients 126-25 et 67-50 pour chacune des quatre préparations de terrain. Les abréviations sont présentées à la figure 3 (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50)..... 32



Tableau 1 : Superficies reboisées (hectare) en fonction des sites et des traitements de préparation de terrain, soit sans préparation de terrain ou plantation directe sur les DS (SpDS), taupe dans les DS (TaDS), scarifié dans les DS (ScDS), et scarifié dans la PNM (ScPM). ..... 18

Tableau 2 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) du taux de survie de plants d'EPN 2 ans après plantation. Les facteurs significatifs sont indiqués en caractère gras ( $P < 0,05$ ). dln = degrés de liberté au numérateur, SpDS = planté sans préparation de terrain dans dénudé sec (DS), TaDS = taupe dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = scarifié dans pessière à mousses (PM), 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>. ..... 23

Tableau 3 : Taux de survie (%) de plants d'EPN 2 ans après plantation en fonction des préparations de terrain et du gabarit de plant. Les abréviations sont présentées dans le tableau 2. (n=19 pour SpDS 126-25, TaDS 126-25, ScDS 126-25, ScPM 67-50, SpDS 67-50, TaDS 67-50, ScDS 67-50, ScPM 67-50). ... 23

Tableau 4 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) de la hauteur ( $H_{tot}$ ) du diamètre au collet ( $D_{col}$ ) et de la biomasse sèche totale ( $BS_{tot}$ ) de plants d'EPN trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2. .... 24

Tableau 5 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) du ratio biomasse sèche racine/tige (ratio rac/tige) et du ratio hauteur/diamètre ( $H/D$ ) de plants d'EPN trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2. .... 27

Tableau 6 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs  $P$ ) pour les variables de biomasse totale ( $BS_{tot}$ ), aérienne ( $BS_{tige}$ ) et racinaire ( $BS_{rac}$ ). Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2. .... 30





croissance, correspondant aux contrastes orthogonaux de la biomasse sèche totale ( $TRC_{tot}$ ), aérienne ( $TRC_{tige}$ ) et racinaire ( $TRC_{rac}$ ) faits sur l'interaction Date\*Prép./terrain pour les plants d'EPN de gabarit 67-50 et 126-25 pendant les trois saisons de croissance. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2. .... 31

Tableau 8 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) du contenu foliaire en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2 (azote SpDS n=38, azote TaDS n=37, azote ScDS n=38, azote ScPM n=38, phosphore SpDS n=38, phosphore TaDS n=37, phosphore ScDS n=38, phosphore ScPM n=38, potassium SpDS n=38, potassium TaDS n=37, potassium ScDS n=38, potassium ScPM n=38, calcium 126-25 n=75, calcium 67-50 n=76, magnésium SpDS n=38, magnésium TaDS n=37, magnésium ScDS n=38, magnésium ScPM n=38)..... 35

Tableau 9 : Contenus foliaires moyens (g/kg) en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires trois ans après plantation. . 35



Les grandes forêts fermées d'épinette noire dominant le paysage forestier du domaine de la pessière noire à mousses. Ça et là, cependant, se retrouvent aussi des forêts ouvertes d'étendue variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans les domaines de la pessière à lichens et de la toundra forestière (Morneau et Payette 1989, Riverin et Gagnon 1996). Ces milieux ouverts contiennent deux strates principales. La première se compose d'arbres épars, principalement d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), parfois accompagné de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), et dont la densité du couvert est inférieure à 40 % (Payette 1992, Gouvernement du Québec 2003). Le second étage se caractérise par de grandes étendues de lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* associés à des plantes arbustives de la famille des éricacées comme le kalmia à feuilles étroites (*Kalmia angustifolia* L.), le rhododendron du Groenland (*Ledum groenlandicum* Retzius.), le bleuet (*Vaccinium angustifolium* Ait.) et la cassade caliculée (*Cassandra calyculata* (L.) D. Don.) (Morneau et Payette 1989, Payette 1992). Une analyse préliminaire réalisée en 2001 pour la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean, Chibougamau-Chapais à partir des banques de données de l'inventaire forestier du troisième décennal du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune a permis d'évaluer pour la première fois l'importance du phénomène dans le territoire régional. Les résultats de cette analyse indiquaient qu'une proportion d'environ 10 % ( $\cong$  1 000 000 ha) du territoire inventorié se retrouvait dans une grande classe forestière non-officielle



vocable, seuls les dénudés secs, les dénudés secs à lichens et les brûlis mal régénérés ont été extraits des cartes d'inventaire pour en arriver au résultat de 10 %. Mais il faut prendre conscience que milieux ouverts sur stations sèches réfèrent aussi à des peuplements identifiés comme pinède de densité faible (densité D), pessière noire de densité faible (densité D) ou pessière noire à lichens. La fréquence des milieux ouverts dans le domaine de la pessière noire fermée dépasse donc les 10 %.

Il est connu que la présence des milieux ouverts dans le domaine de la pessière à lichens résulte des effets combinés des feux et du climat froid (Hustich 1965, 1966; Lavoie et Sirois 1998). Dans le domaine de la pessière fermée, le processus d'ouverture des forêts fermées vers des forêts ouvertes serait plutôt lié à une succession de perturbations naturelles en rafales, qui empêche l'établissement de la régénération. Par exemple, des feux trop rapprochés dans le temps ou un feu suivant une épidémie d'insectes défoliateurs conduisent au processus d'ouverture (Payette et al. 2000; Côté et Gagnon 2002, Côté 2003 et 2004). La présence, côte à côte, de secteurs de forêts ouvertes et de forêts fermées sur les mêmes dépôts et dans des conditions climatiques et topographiques identiques est autant d'éléments qui appuient cette nouvelle vision. Les milieux ouverts à lichens constitueraient donc une forme régressive des forêts fermées caractéristiques du domaine de la pessière à mousses (Payette 1992, Gagnon 1998, Girard 2005).

Ce seraient des conditions biotiques et abiotiques inhérentes aux peuplements qui diminueraient le succès reproductif de l'épinette noire (Mallik 1987, Payette 1992, Riverin et Gagnon 1996). Ceci aurait pour effet de réduire la densité de tiges d'une génération à l'autre sur le territoire affecté, mais ne diminuerait pas nécessairement le potentiel du site pour la croissance des tiges. D'ailleurs, les résultats de Côté (2004) ont démontré que les individus croissant dans les milieux ouverts sur stations sèches affichent une croissance comparable à ceux des forêts fermées avoisinantes. Tous ces résultats concernant la construction naturelle des milieux ouverts en forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses laissent croire que la remise en production de ces territoires pourrait être envisageable, tant au plan conceptuel et que technique.

Les objectifs du projet sont de mesurer la survie et la croissance de semis plantés en 2000 et 2001 dans des milieux ouverts sur stations sèches créés naturellement au sein de forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses. Deux facteurs sont aussi étudiés simultanément, soit l'effet de différents modes de préparation de terrain et l'utilisation de différents gabarits de semis d'épinette noire

Le mode de préparation de terrain le plus souvent rencontré en forêt boréale québécoise lors de l'établissement d'une plantation est le scarifiage

améliorer, à court terme, le succès des plantations par une amélioration des fonctions hydriques des plants et par une minéralisation supérieure des nutriments (Brand 1990, Munson et al. 1993, Prévost 1996, Boucher et al. 1998, 2001). Le scarifiage est aussi reconnu pour limiter la prolifération des éricacées en créant des barrières à l'expansion des rhizomes (Titus et al. 1995, Thiffault et al. 2005). Lorsque le scarifiage à grande échelle est impossible, l'utilisation de la taupe pourrait devenir un traitement sylvicole approprié. Ce type de traitement vise à exposer le sol minéral dans un rayon de 15 cm (Tremblay 1996). À plus faible échelle, son impact sur la croissance des plants pourrait ressembler à celui du scarifiage, mais ses impacts spécifiques sur les plants forestiers sont très peu connus (Hébert et al. 2005).

Le facteur gabarit de plant fait aussi l'objet de cette étude car le faible niveau de compétition de végétation arborescente dans les milieux ouverts sur stations sèches pourrait permettre l'utilisation de plants de gabarit plus petit. Des plants cultivés en récipient de 126 cavités d'un volume de 25 cm<sup>3</sup> (plants de gabarit 126-25) ont déjà montré leur potentiel de croissance et de survie au sein de la forêt boréale commerciale dans des milieux comme des brûlis récents ou des pessières à mousses récoltés (Walsh et al. 2002). Le recours à ce type de récipient permet de doubler la quantité de plants produits par unité de surface et de diminuer le temps de production de six semaines par rapport aux plants les plus petits utilisés jusqu'ici au Québec, soit ceux cultivés dans des récipients de



de gabarit 126-25 devrait donc diminuer les coûts de production, mais aussi les coûts de transport, puisque 372 960 plants de gabarit 126-25 peuvent être transportés par un semi-remorque, comparativement à 198 320 plants pour ceux cultivés en récipients 67-50. Enfin, les coûts de reboisement pourraient aussi être à la baisse étant donné que le planteur peut en transporter un nombre plus important à la fois

Afin de répondre aux objectifs du projet, des dispositifs ont été établis de manière à couvrir au maximum les conditions représentatives du territoire régional où il y a présence de milieux ouverts sur stations sèches. Ce rapport présente les résultats des trois premières saisons de croissance.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Dispositif expérimental**

Des plantations expérimentales ont été réalisées dans 19 blocs sur sept sites situés dans le domaine la pessière noire à mousses (15 blocs) et dans la sapinière à bouleau blanc (4 blocs) (figure 1). Chacun des 19 blocs comprenait un peuplement sur stations sèches et un peuplement pessière noire à mousse (PNM) qui était un site productif coupé récemment et scarifié, situé le plus près possible du peuplement sur station sèche du même bloc. Dans le cadre de ce document, nous allons utiliser l'expression dénudé sec (DS) pour faire référence aux divers types de peuplements ouverts sur stations sèches retrouvés dans nos 19 blocs. Il peut donc s'agir de dénudés secs, de dénudés secs à lichens, de brûlis mal régénéré, de pinède de densité faible (densité D), de pessière noire de densité faible (densité D) ou de pessière noire à lichens.

La croissance et la survie de plants d'épinette noire ont été comparées en fonction des facteurs préparation de terrain et gabarit de plants. Ce dispositif factoriel en tiroirs (split-plot) par blocs était composé, en parcelle principale, des préparations de terrain, qui consistait en trois niveaux pour les dénudés secs (DS): sans préparation de terrain ou plantation directe (SpDS), taupé (TaDS), et scarifié (ScDS), et un niveau pour la PNM qui était le scarifiage suivant une



Le gabarit de plant, soit ceux de type 67-50 (67 alvéoles de 50 cm<sup>3</sup> de substrat), et des 126-25 (126 alvéoles de 25 cm<sup>3</sup> de substrat) (IPL inc. Québec), était en sous-parcelle.

Le scarifiage est une préparation de terrain qui consiste à enlever la végétation compétitive et la couche de sol organique afin d'exposer le sol minéral en formant un sillon continu d'une largeur approximative de 60 à 80 cm de largeur. Les sillons ont été effectués à l'aide d'un scarificateur à disque hydraulique pour tous les sites, à l'exception du site Péribonka où le scarificateur à disque était mécanique. La taupe pour sa part est une préparation de terrain effectuée à l'aide d'une débroussailleuse modifiée et consiste à créer un microsite de 30 cm de diamètre en enlevant la végétation compétitive et la couche de sol organique afin d'exposer le sol minéral. Les traitements de préparation de terrain ont été réalisés en 1999 pour les blocs 1 à 7, en 2000 pour les blocs 8 à 13, et en 2001 pour les blocs 14 à 19. Les plantations ont été réalisées en 1999, en 2000 et en 2001. Les détails sont présentés au tableau 1.

## Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec

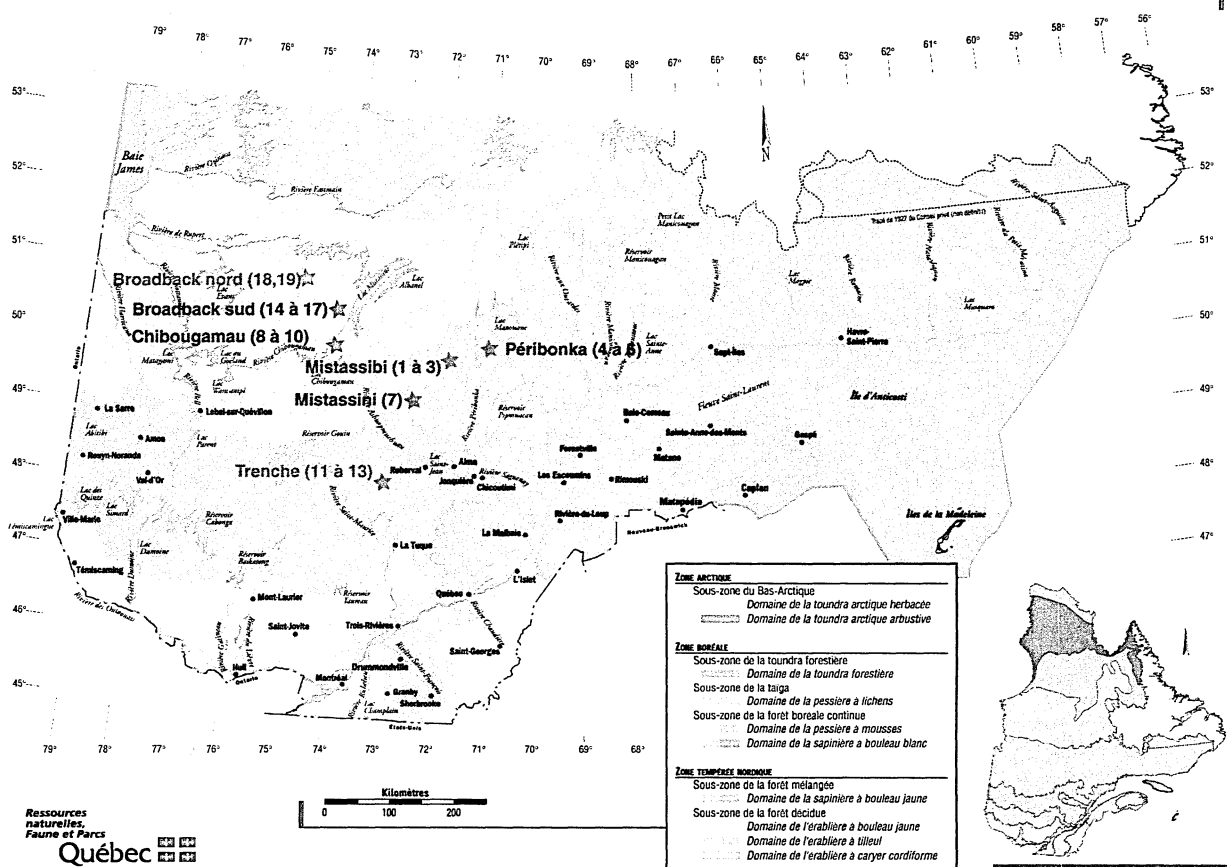
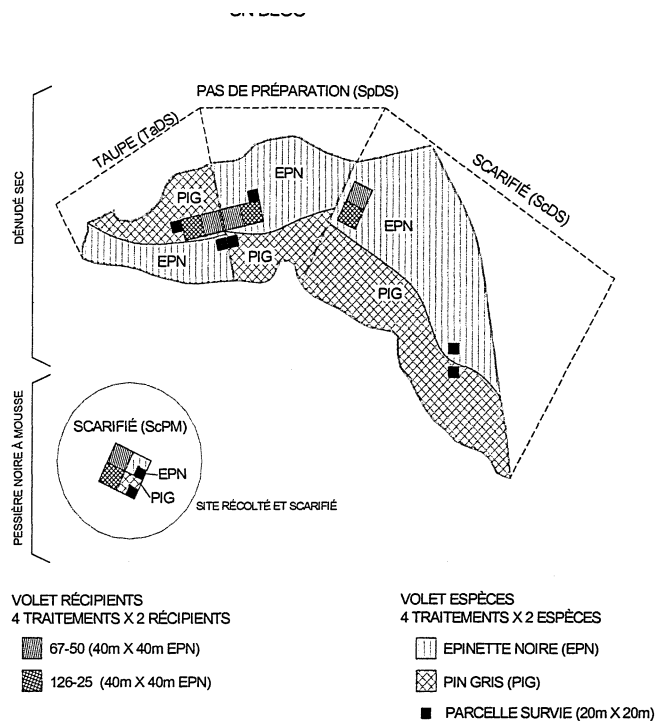


Figure 1 : Localisation des 7 sites et des 19 blocs du dispositif.



**Figure 2 :** Exemple de la disposition des parcelles et sous parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif.

**Tableau 1 :** Superficies reboisées (hectare) en fonction des sites et des traitements de préparation de terrain, soit sans préparation de terrain ou plantation directe sur les DS (SpDS), taupe dans les DS (TaDS), scarifié dans les DS (ScDS), et scarifié dans la PNM (ScPM).

Site	Bloc	Dénudé sec								Année de plantation
		SpDS		TaDS		ScDS		PNM		
		67-50	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	
Mistassibi	1	0.175	0.147	0.178	0.186	0.161	0.163	0.118	0.149	2000
	2	0.157	0.157	0.159	0.154	0.148	0.138	0.054	0.068	2000
	3	0.174	0.168	0.147	2.090	0.181	0.168	0.078	0.088	2000
Péribonka	4	0.157	0.117	0.162	0.178	0.179	0.285	0.199	0.189	2000
	5	0.162	0.137	0.148	0.138	0.258	0.269	0.208	0.177	2000
	6	0.148	0.153	0.111	0.126	0.152	0.159	0.088	0.107	2000
Mistassini	7	0.113	0.138	0.144	0.171	0.150	0.137	0.163	0.172	2000
Chibougamau	8	0.160	0.156	0.159	0.164	0.158	0.159	0.172	0.188	2000
	9	0.151	0.146	0.159	0.165	0.184	0.186	0.176	0.144	2000
	10	0.151	0.149	0.158	0.155	0.168	0.182	0.155	0.166	2000
Trenche	11	0.150	0.156	0.150	0.153	0.196	0.266	0.147	0.189	2000
	12	0.147	0.154	0.159	0.136	0.183	0.144	0.179	0.160	2000
	13	0.144	0.123	0.140	0.149	0.186	0.187	0.200	0.154	2000
Broadback Sud	14	0.145	0.142	0.129	0.177	0.080	0.126	0.172	0.319	2001
	15	0.140	0.167	0.153	0.132	0.243	0.236	0.198	0.158	2001
	16	0.175	0.120	0.109	0.165	0.226	0.188	0.145	0.141	2001
Boradback Nord	17	0.163	0.189	0.158	0.193	0.190	0.212	0.178	0.177	2001
	18	0.147	0.157	0.181	0.155	0.164	0.165	0.189	0.175	2001
	19	0.161	0.171	0.145	0.159	0.148	0.200	0.171	0.239	2001

Les plants étaient produits en serres à l'UQAC de provenance EPN-V8-025-K13-026-96.

### **Échantillonnage**

Pour chaque combinaison de traitements, une parcelle permanente d'environ 1600 m<sup>2</sup> a été implantée (figure 2). Une centaine de plants ont été choisis aléatoirement, identifiés et localisés après la plantation pour évaluer la survie des plants. Ces plants ont été revisités un an et deux ans après la plantation, et l'état des plants, vivant ou mort, était noté. Le taux de survie était calculé en faisant le rapport du nombre de plants demeurés vivants sur le nombre total de plants au moment de la plantation. À même les plants résiduels, cinq échantillons étaient choisis aléatoirement, un an deux ans et trois ans après la plantation, pour faire le suivi de la croissance. Ces plants ont été prélevés et apportés au laboratoire. La hauteur totale ( $H_{tot}$ ), la longueur des pousses annuelles antérieures et le diamètre au collet ( $D_{col}$ ) étaient mesurés sur les plants frais. Les racines ont été nettoyées délicatement et les systèmes racinaires ont été séparés des parties aériennes pour être séchés à l'étuve à 80 °C pendant 48 heures. La biomasse sèche de la partie aérienne ( $BS_{tige}$ ) et la biomasse racinaire ( $BS_{rac}$ ) ont été déterminées séparément.

Une analyse de variance (ANOVA) à tiroirs subdivisés (split-plot) a été réalisée sur les variables de survie (deux ans), de hauteur totale ( $H_{tot}$ ), de diamètre au collet ( $D_{col}$ ), de biomasse sèche totale ( $BS_{tot}$ ), du ratio biomasse racinaire/biomasse aérienne (ratio Rac/Tige) du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) (cm/mm) et du contenu foliaire en nutriments (N, P, K, Ca, Mg) de plants d'EPN 126-25 et 67-50 trois ans après plantation. Les traitements de préparation de terrain (Prép./terrain) (4) étaient en parcelle principale et le gabarit de plant (2) était en sous-parcelle. Des taux relatifs de croissance (TRC) ont été calculés pour chacune des variables de biomasse (totale, aérienne et racinaire) afin d'analyser les effets des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la croissance des plants selon la méthode de Poorter et Lewis (1986). Les ratios Rac/Tige et le ratio H/D ont été corrigés selon la méthode d'ajustement de Bauce et al. (1994) afin de ne pas déroger aux postulats fondamentaux de l'analyse de variance (Zar 1999).

L'homogénéité de la variance a été vérifiée par l'analyse visuelle de la dispersion des résidus de chacune des variables (Devore et Peck 1994). Des transformations logarithmiques ont été effectuées pour certaines variables afin d'homogénéiser la variance. Les données des taux de survie ont été transformées en utilisant la formule suivante :  $\text{ArcSin}(\sqrt{(\% \text{survie})})$  (Zar 1999).



MIXED du logiciel SAS, version 8.1 (SAS Institute, Cary, NC). Dans le cas où l'interaction Prép./terrain\*Gabarit s'avérait significative, la procédure <<slicing>> était réalisée afin de déterminer s'il y avait un effet des préparations de terrain pour chacun des gabarits de plants. Une réponse significative permettait la réalisation d'une analyse de variance séparée pour chaque gabarit de plant. Les différences entre les préparations de terrain ont été déterminées par des contrastes *a-priori* (Steel et Torrie 1980). Les différences étaient considérées comme significatives à  $P < 0,05$ .

Dans les dénudés secs (DS), le taux de survie des plants d'EPN, après deux ans, est significativement plus élevé dans les parcelles ScDS et TaDS comparativement aux parcelles SpDS, indépendamment du type de gabarit des plants (tableau 2). Les plants dans les parcelles ScDS ont un taux de survie supérieur de 18,8 % pour les 126-25 et de 11,2 % plus élevé pour les 67-50 face aux plants dans les parcelles SpDS (tableau 3). Les plants des parcelles TaDS, deux ans après plantation, ont un taux de survie supérieur aux parcelles SpDS de 18,4 % pour les 126-25 et de 7,4 % pour les 67-50 (tableau 3). Les préparations de terrain effectués dans les dénudés secs (ScDS et TaDS) ont résulté en des taux de survie comparables (tableau 3) à ceux obtenus dans les parcelles ScPM.



ans après plantation. Les facteurs significatifs sont indiqués en caractère gras ( $p < 0,05$ ). dln = degrés de liberté au numérateur, SpDS = planté sans préparation de terrain dans dénudé sec (DS), TaDS = taupe dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = scarifié dans pessièrre à mousses (PM), 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>.

Source de variation	dln	Survie 2 ans*
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>
Gabarit	1	<b>&lt;0,0001</b>
Prép./terrain*Gabarit	3	<b>0,0039</b>
<i>Contrastes</i>		
ScDS vs ScPM 67-50	1	0,3876
TaDS vs SpDS 67-50	1	<b>0,0009</b>
SpDS vs ScDS 67-50	1	<b>&lt;0,0001</b>
ScDS vs ScPM 126-25	1	0,2095
TaDS vs SpDS 126-25	1	<b>&lt;0,0001</b>
SpDS vs ScDS 126-25	1	<b>&lt;0,0001</b>

\*Données transformées : arcsin ( $\sqrt{\text{Survie 2 ans}}$ )

**Tableau 3 :** Taux de survie (%) de plants d'EPN 2 ans après plantation en fonction des préparations de terrain et du gabarit de plant. Les abréviations sont présentées dans le tableau 2. (n=19 pour SpDS 126-25, TaDS 126-25, ScDS 126-25, ScPM 67-50, SpDS 67-50, TaDS 67-50, ScDS 67-50, ScPM 67-50).

Gabarit	Prép./terrain			
	SpDS	TaDS	ScDS	ScPM
126-25	70,5	88,9	89,3	84,3
67-50	83,9	91,8	95,1	92,9

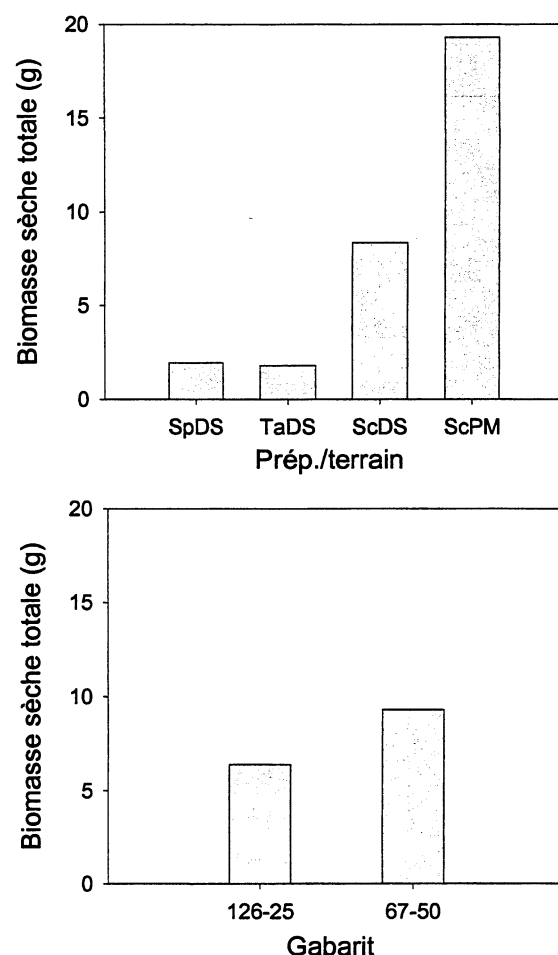
Le scarifiage dans les DS a eu un effet significatif sur la hauteur totale ( $H_{\text{tot}}$ ), le diamètre au collet ( $D_{\text{col}}$ ) et la biomasse totale ( $BS_{\text{tot}}$ ) des plants trois ans après plantation et ce, pour les deux types de gabarits (tableau 4). Ces plants ont une  $BS_{\text{tot}}$  supérieure de 331% aux plants des parcelles SpDS tout gabarit de plants confondus. Trois ans après plantation, les plants de type 67-50 ont une  $BS_{\text{tot}}$  supérieure de 48% comparativement aux plants de type 126-25. Les plants des parcelles ScDS ne sont pas ceux dont la  $BS_{\text{tot}}$  est la plus importante, les plants des ScPM ayant une  $BS_{\text{tot}}$  supérieure de 132% (figure 3). Le scarifiage dans les DS a aussi influencé de façon significative la croissance en  $H_{\text{tot}}$  et en

de  $H_{tot}$  et de  $D_{col}$  des plants sont, respectivement 45,5 % et 103,4 % supérieures dans les ScDS que dans les SpDS (figure 4). La même tendance est observée pour les plants de gabarit 67-50 où la  $H_{tot}$  et le  $D_{col}$  des plants des parcelles ScDS étant supérieure de 29,7 % et de 83,4 % aux plants des parcelles SpDS. Comme dans le cas de la  $BS_{tot}$ , la croissance des plants en  $H_{tot}$  et en  $D_{col}$  est supérieure dans les ScPM comparativement aux ScDS. Les plants ayant des  $H_{tot}$  et des  $D_{col}$  plus élevés de 29,9 % et de 55,3 % pour les 126-25 et supérieurs de 19,2 % et de 30,3 % pour les 67-50 (figure 4).

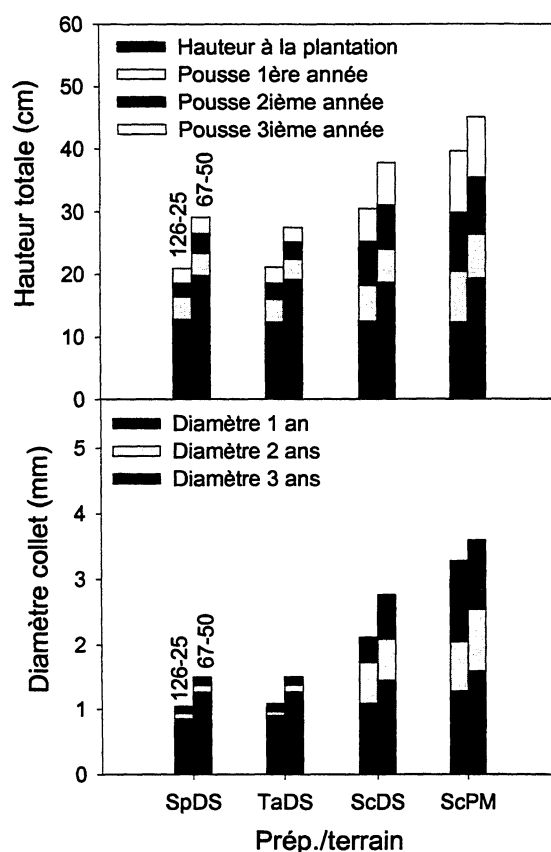
**Tableau 4** : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) de la hauteur ( $H_{tot}$ ) du diamètre au collet ( $D_{col}$ ) et de la biomasse sèche totale ( $BS_{tot}$ ) de plants d'EPN trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2.

Source de variation	dln	$H_{tot}^*$	$D_{col}^*$	$BS_{tot}^*$
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Gabarit	1	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Prép./terrain*Gabarit	3	<b>0,0014</b>	<b>0,0014</b>	0,2253
<i>Contrastes</i>				
ScDS vs ScPM	1	-	-	<b>0,0006</b>
TaDS vs SpDS	1	-	-	0,7874
SpDS vs ScDS	1	-	-	<b>&lt;0,0001</b>
ScDS vs ScPM 67-50	1	<b>0,0062</b>	<b>0,0062</b>	-
TaDS vs SpDS 67-50	1	0,2588	0,2588	-
SpDS vs ScDS 67-50	1	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	-
ScDS vs ScPM 126-25	1	<b>0,0002</b>	<b>0,0002</b>	-
TaDS vs SpDS 126-25	1	0,9037	0,9037	-
SpDS vs ScDS 126-25	1	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	-

\*Données transformées (ln)



**Figure 3 :** Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable de la biomasse sèche totale des plants récoltés trois ans après plantation. Abréviations : SpDS = sans préparation dans dénudé sec (DS), TaDS = taupé dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = Scarifié dans une pessière noire à mousses aménagée, 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 368 pour 126-25, n = 378 pour 67-50).



**Figure 4 :** Effets de l'interaction Prép./terrain\*Gabarit sur les variables hauteur totale et de diamètre au collet des plants récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées en figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 95 pour TaDS-67-50, TaDS-126-25, ScDS-67-50, SpDS-67-50, n = 94 pour ScDS-126-25, ScPM126-25, n = 93 pour ScPM-67-50 et n = 88 pour SpDS-126-25).

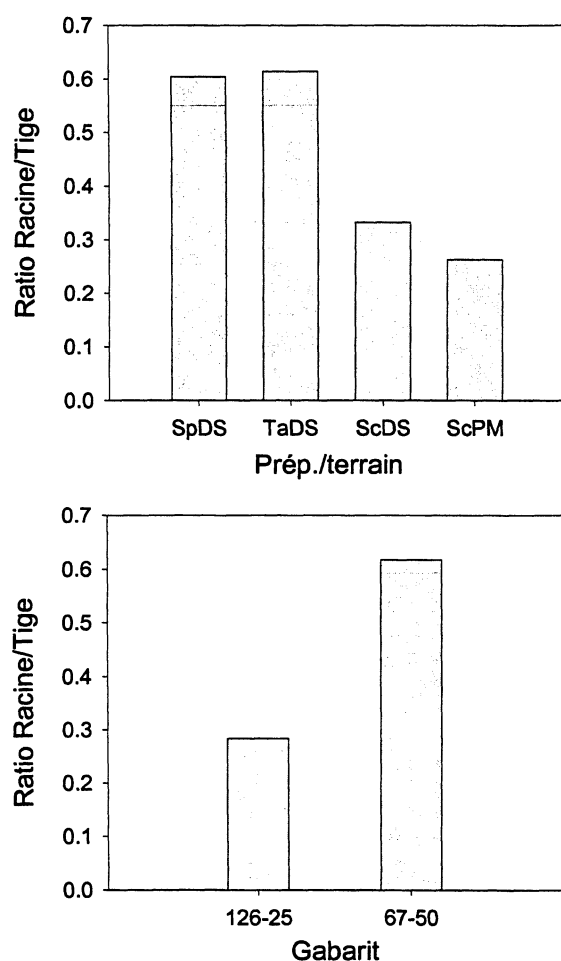
Le scarifiage dans les DS (ScDS) a eu un effet significatif sur le ratio de biomasse sèche racine/tige (ratio rac/tige), celui-ci étant inférieur au ratio des parcelles SpDS. Les plants présentant un ratio rac/tige plus faible démontrent qu'ils allouent proportionnellement plus de biomasse à la partie aérienne. Le ratio rac/tige dans les parcelles ScPM est inférieur à celui mesuré dans les parcelles ScDS (tableau 5, figure 5). Les plants de gabarit 67-50 ont un ratio rac/tige supérieur à leurs équivalents 126-25. Pour sa part, le ratio hauteur/diamètre

(SpDS<TaDS<ScDS<ScPM) et atteint sa valeur la plus basse dans les parcelles ScPM. Un ratio H/D élevé indique que les plants font proportionnellement plus de croissance en hauteur qu'en diamètre tandis qu'un ratio H/D plus faible indique que les plants sont plus robustes. Pour ces deux variables, aucune différence significative n'a été détectée entre les plants des parcelles TaDS et SpDS. Enfin, les plants de gabarit 126-25, trois ans après plantation, ont un ratio H/D supérieur aux plants de gabarit 67-50 (tableau 5, figure 6).

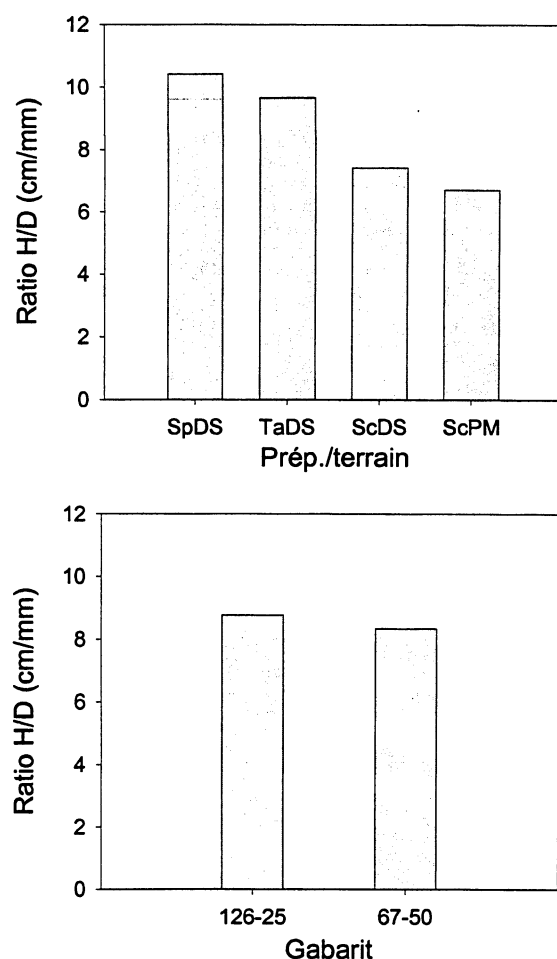
**Tableau 5 :** Résumé de l'analyse de variance (valeurs de *P*) du ratio biomasse sèche racine/tige (ratio rac/tige) et du ratio hauteur/diamètre (H/D) de plants d'EPN trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs (*P* < 0.05). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2.

Source de variation	dln	Ratio Rac/Tige	Ratio H/D
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Gabarit	1	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Prép./terrain*Gabarit	3	0,5828	0,4058
<i>Contrastes</i>			
ScDS vs ScPM	1	<b>0,0004</b>	<b>0,0002</b>
TaDS vs SpDS	1	0,9729	0,6341
SpDS vs ScDS	1	<b>0,0164</b>	<b>&lt;0,0001</b>





**Figure 5:** Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable ratio biomasse racinaire/biomasse aérienne (ratio rac/tige) des plants d'EPN récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées à la figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50).



**Figure 6 :** Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la variable du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) des plants récoltés trois ans après plantation. Les abréviations sont présentées à la figure 3. Chaque colonne représente la moyenne obtenue pour les 19 blocs (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50).

Le tableau 6 nous présente l'analyse des biomasses sèches transformées pour les trois types de biomasses (totale, aérienne et racinaire). On peut voir une différence, en termes de taux relatifs de croissance (TRC), entre les préparations de terrain et une différence entre les gabarits de plants, et ce, pour les trois types de biomasses. Pour la biomasse totale et aérienne, une interaction triple Date\*Prép./terrain\*Gabarit s'est avérée significative. Cette interaction est due à

TRC totaux et aériens des plants de gabarit 126-25 sont supérieurs à ceux des gabarits 67-50 (figures 7 et 8). Afin de répondre à l'objectif initial, les analyses des TRC ont été refaites pour chacun des gabarits de plants (tableau 7). Au cours des trois saisons de croissances étudiées, l'analyse des biomasses sèches totale ( $BS_{tot}$ ), aérienne ( $BS_{tige}$ ) et racinaire ( $BS_{rac}$ ) montre des différences significatives des TRC et ce, pour les deux types de gabarit (interaction Prép./terrain\*Date) (tableau 7). Pour chacun des gabarits de plants, les TRC sont supérieurs pour les parcelles ScDS, en comparaison avec ceux des parcelles TaDS et SpDS, et ce pour les variables  $BS_{tot}$ ,  $BS_{tige}$  et  $BS_{rac}$  (tableau 7, figures 7,8,9). Les TRC des parcelles ScDS sont inférieurs à ceux des parcelles ScPM, à l'exception de  $BS_{rac}$  dans les 67-50 où aucune différence significative fut détectée (tableau 6, figures 7,8,9).

**Tableau 6 :** Résumé de l'analyse de variance (valeurs  $P$ ) pour les variables de biomasse totale ( $BS_{tot}$ ), aérienne ( $BS_{tige}$ ) et racinaire ( $BS_{rac}$ ). Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2.

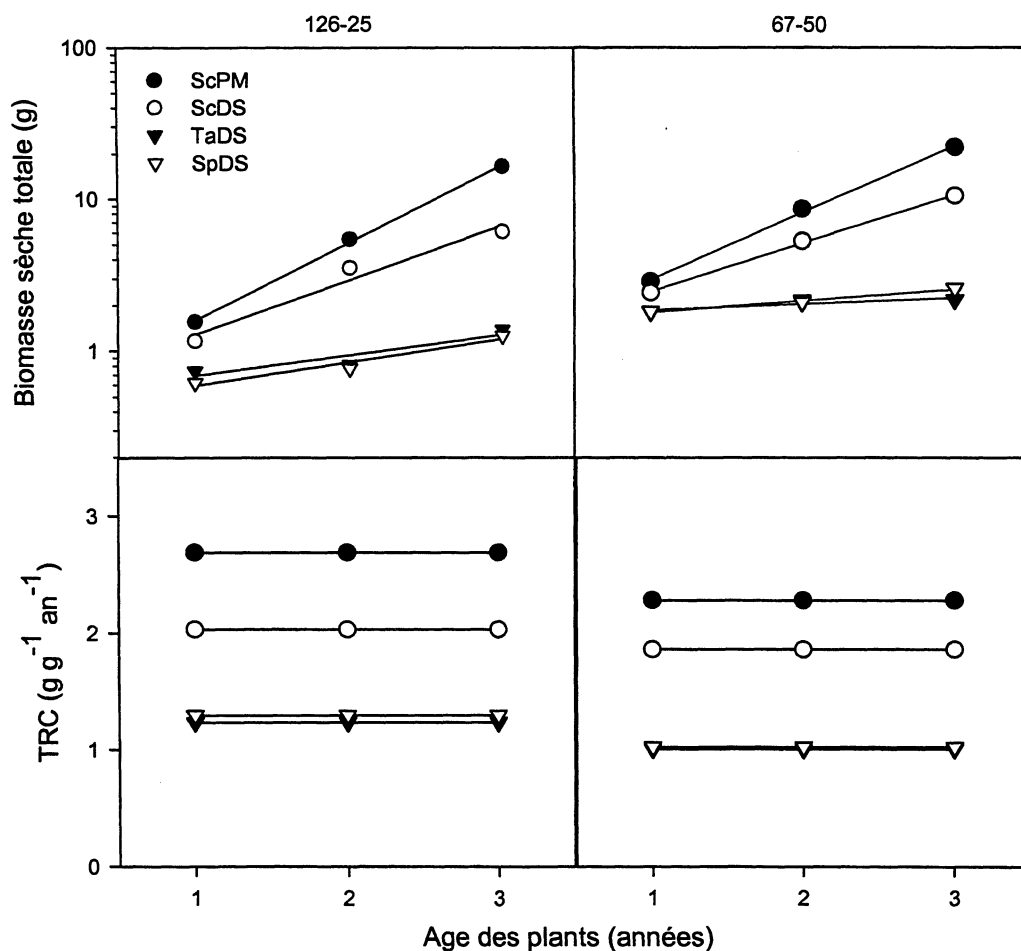
Source de variation	dln	$BS_{tot}$ *	$BS_{tige}$ *	$BS_{rac}$ *
Prép./terrain	3	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Gabarit	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Prép./terrain*Gabarit	3	<0,0001	0,0001	<0,0001
Date	2	<0,0001	<0,0001	0,0055
Date* Prép./terrain	6	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Date*Gabarit	2	0,0005	0,0003	0,1982
Date* Prép./terrain*Gabarit	6	0,0197	0,0008	0,3177

\*Transformation logarithmique (ln)

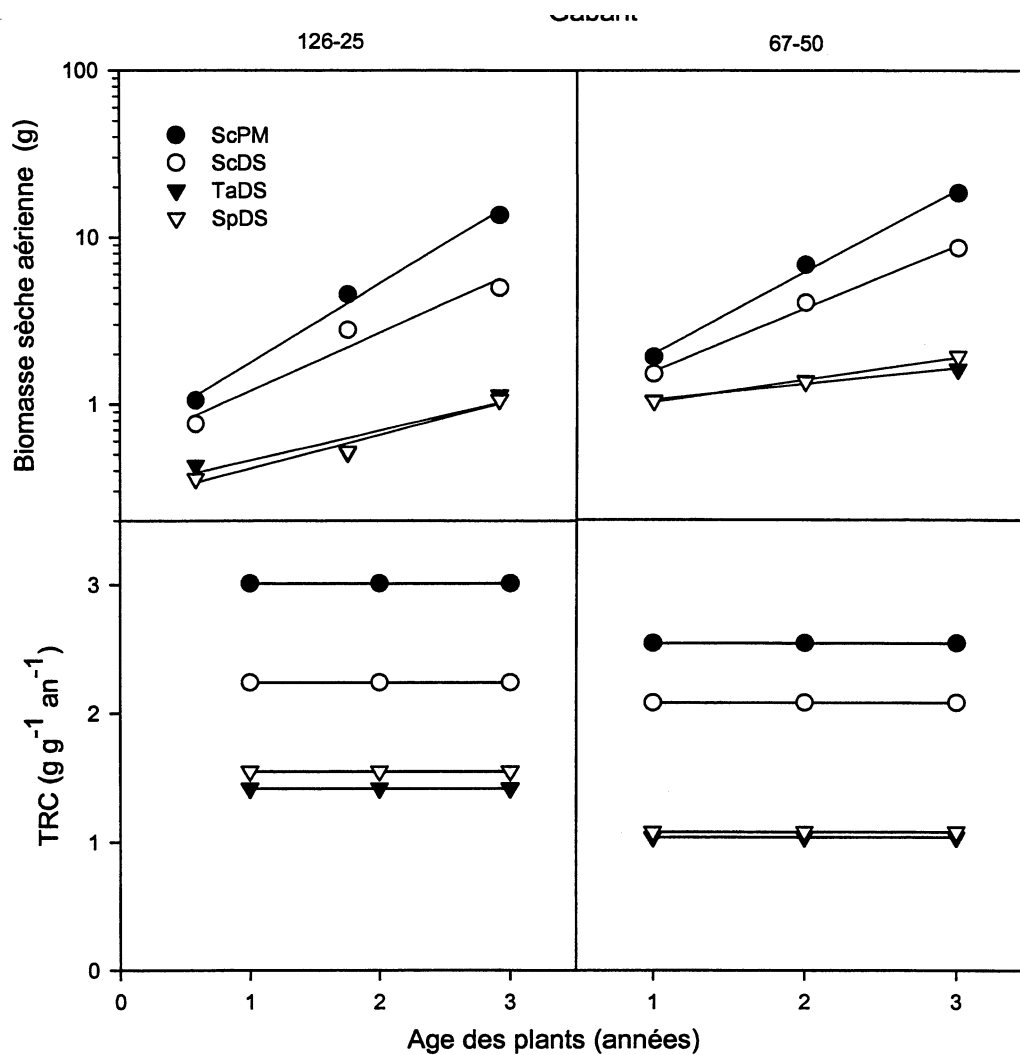
correspondant aux contrastes orthogonaux de la biomasse sèche totale ( $TRC_{tot}$ ), aérienne ( $TRC_{tige}$ ) et racinaire ( $TRC_{rac}$ ) faits sur l'interaction Date\*Prép./terrain pour les plants d'EPN de gabarit 67-50 et 126-25 pendant les trois saisons de croissance. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2.

Source de variation	TRC <sub>tot</sub> *		TRC <sub>tige</sub> *		TRC <sub>rac</sub> *		
	dln	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25
Prép./terrain	3	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Date	2	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0088	0,0003
Prép./terrain*Date	6	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>Contrastes</i>							
ScDS vs ScPM linéaire	1	0,0106	0,0042	0,0403	0,0077	0,0586	0,0464
ScDS vs SpDS linéaire	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0013	<0,0001	<0,0001
SpDS vs TaDS linéaire	1	0,8356	0,6721	0,7016	0,4784	0,8467	0,9180
ScDS vs ScPM quadratique	1	0,7516	0,5813	0,7975	0,8788	0,8426	0,1837
ScDS vs SpDS quadratique	1	0,6288	0,1197	0,7580	0,0322	0,1144	0,3090
ScDS vs TaDS quadratique	1	0,6119	0,8751	0,6874	0,8069	0,6783	0,9961

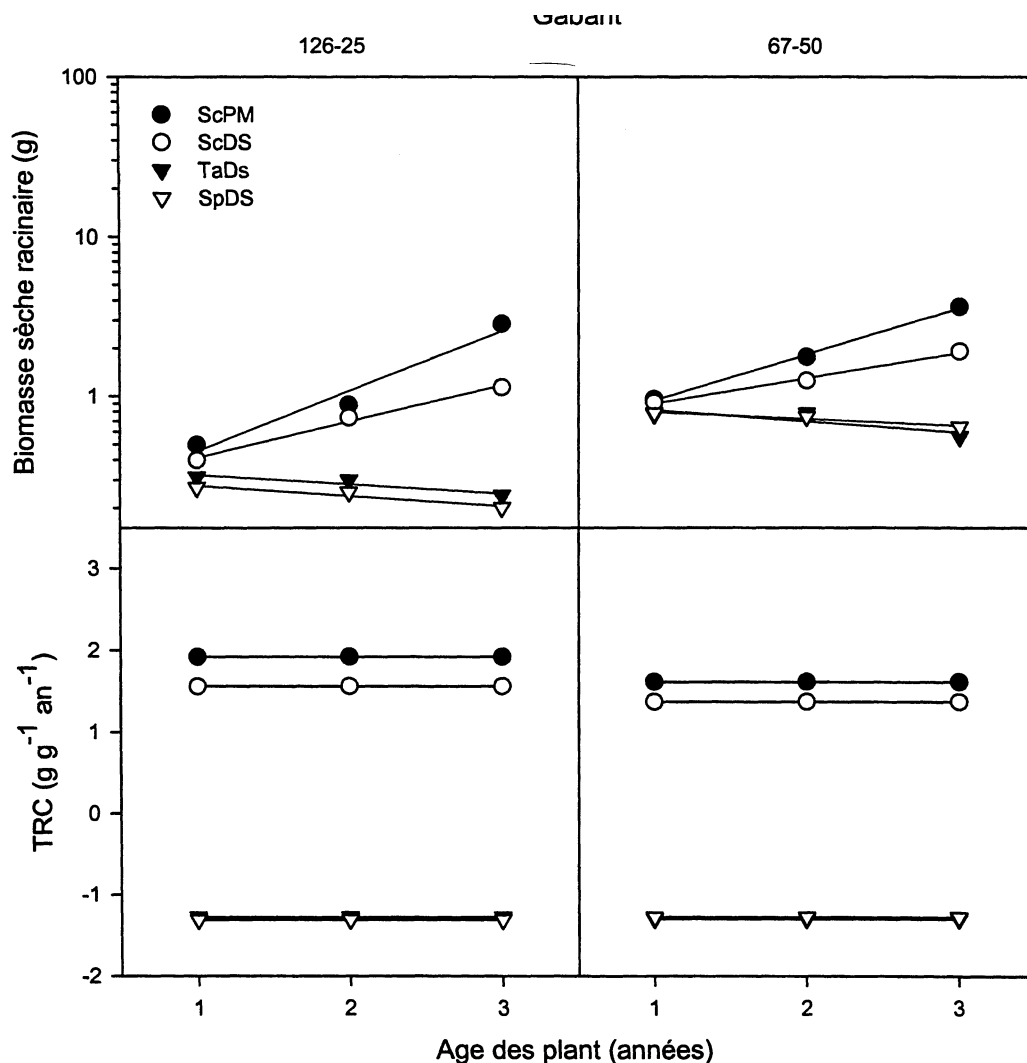
\*Transformation logarithmique (ln)



**Figure 7 :** Effet du temps (années) sur la biomasse sèche totale et des taux relatifs de croissance (TRC) pour les trois années de croissance suivant la plantation des plants d'EPN en récipients 126-25 et 67-50 pour chacune des quatre préparations de terrain. Les abréviations sont présentées à la figure 3 ( $n = 190$  pour TaDS,  $n = 189$  pour ScDS,  $n = 187$  pour ScPM,  $n = 183$  pour SpDS,  $n = 371$  pour 126-25,  $n = 378$  pour 67-50).



**Figure 8:** Effet du temps (années) sur la biomasse sèche aérienne et des taux relatifs de croissance (TRC) pour les trois années de croissances suivant la plantation des plants d'EPN de gabarit 126-25 et 67-50 pour chacune des quatre de préparation de terrain. Les abréviations sont présentées à la figure 3 (n = 190 pour TaDS, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50).



**Figure 9 :** Effet du temps (années) sur la biomasse sèche racinaire et des taux relatifs de croissance (TRC) pour les plants d'EPN de gabarit 126-25 et 67-50 pour chacune des quatre préparations de terrain. Les abréviations sont présentées à la figure 3. (n = 190 pour TaDs, n = 189 pour ScDS, n = 187 pour ScPM, n = 183 pour SpDS, n = 371 pour 126-25, n = 378 pour 67-50).

Les concentrations foliaires en azote, phosphore et potassium sont significativement différentes entre les parcelles ScDS et SpDS. Les concentrations dans les ScDS sont respectivement plus élevées de 54 %, 15 % et 26 % comparativement aux parcelles SpDS (tableau 7 et 8). Les plants de

*par quel terrain ?*

comparativement aux plants 126-25.

**Tableau 8 :** Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $P$ ) du contenu foliaire en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires trois ans après plantation. Les traitements en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 2 (azote SpDS n=38, azote TaDS n=37, azote ScDS n=38, azote ScPM n=38, phosphore SpDS n=38, phosphore TaDS n=37, phosphore ScDS n=38, phosphore ScPM n=38, potassium SpDS n=38, potassium TaDS n=37, potassium ScDS n=38, potassium ScPM n=38, calcium 126-25 n=75, calcium 67-50 n=76, magnésium SpDS n=38, magnésium TaDS n=37, magnésium ScDS n=38, magnésium ScPM n=38).

Source de variation	dln	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0018</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,5320	0,4299
Gabarit	1	0,6469	0,9584	0,8606	<b>0,0121</b>	0,1005
Prép./terrain*Gabarit	3	0,4748	0,5347	0,6060	0,5689	0,6194
<i>Contrastes</i>						
ScDS vs ScPM	1	0,1068	0,4072	0,6768	-	-
SpDS vs ScDS	1	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0041</b>	<b>&lt;0,0001</b>	-	-
SpDS vs TaDS	1	0,7027	0,1364	<b>0,0007</b>	-	-

**Tableau 9 :** Contenus foliaires moyens (g/kg) en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires trois ans après plantation.

Prép./terrain	N	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium
SpDS	38	8,5	1,52	5,0	5,49	0,96
TaDS	37	8,6	1,63	5,6	5,26	0,93
ScDs	38	13,1	1,74	6,3	5,04	0,92
ScPM	38	14,1	1,81	6,2	5,25	0,99
<i>Gabarit</i>						
126-25	75	11,2	1,67	5,8	4,94	0,97
67-50	76	11,2	1,68	5,8	5,57	0,93





## **Impact des modes de préparation de terrain dans les DS**

---

Le scarifiage dans les DS est le mode de préparation de terrain qui a permis d'obtenir les meilleurs taux de survie deux ans après la plantation et la plus forte croissance trois ans après la plantation. L'effet bénéfique du scarifiage sur la croissance et la survie des jeunes plants de conifères en phase d'établissement est donc démontré une fois de plus (voir les travaux de Bassman 1989, Grossnickle et Heikurinen 1989, Boucher et al. 1998, Örlander et al. 1998, Bedford et Sutton 2000, Thiffault et al. 2003, Hébert et al. 2005). Le scarifiage est reconnu pour augmenter la charge radiative sur le sol, ce qui stimule la croissance racinaire et l'absorption de nutriments, en plus d'améliorer les fonctions hydriques (Bassman 1989, Bowen 1991, Lyr et Garbe, 1995, Boucher et al. 1998, 2001, Hébert et al. 2005). D'ailleurs, les plants des parcelles scarifiées dans les DS ont une plus grande concentration foliaire en nutriments que ceux des parcelles taupées et sans préparation de terrain. Le ratio de biomasse racine/tige plus bas chez les plants des parcelles scarifiées par rapport aux deux autres traitements dans les DS peut être un reflet d'un meilleur statut hydrique et nutritionnel (Girard 2004, Hébert et al. 2005). La diminution de l'influence de la compétition sur la disponibilité en nutriments, l'interférence sur la colonisation des mycorhizes et l'interférence allélopathique devraient aussi être considérées pour expliquer, au moins en partie, les impacts positifs du scarifiage



Yamasaki et al. 1998, 2002).

La taupe a provoqué une augmentation du taux de survie des plants comparativement aux parcelles sans préparation de terrain, mais leur croissance était inférieure à celle mesurée sur les plants des parcelles scarifiées. La différence de croissance observée entre les plants des parcelles non scarifiées et scarifiées dans les DS pourrait être attribuable aux fonctions hydriques favorables retrouvées dans les parcelles scarifiées en comparaison avec les parcelles taupées et sans préparation de terrain (Hébert et al. 2005). Pourtant, d'un point de vue opérationnel, la taupe est reconnue comme un outil intéressant pour la création de microsites pour plantation. L'absence d'impact positif de la taupe pourrait être reliée au plus faible niveau de perturbation du microsite comparativement au passage d'un scarificateur. En retirant la végétation compétitive dans un rayon de 15 cm, la taupe réduit l'épaisseur de la matière organique non ou partiellement décomposée. Souvent, cependant, cette couche est tellement épaisse que le microsite contient peu ou pas d'horizon minéral en association avec de l'humus bien décomposé. Enfin, la méthode utilisée (debrousailleuse) a créé une grande hétérogénéité de microsites.

De plus, les microsites formés à l'aide de la taupe ont tendance à être recolonisés rapidement par la végétation de compétition, perdant ainsi les avantages qu'elle devait leur procurer au plan de la croissance des plants mis en terre. S'il s'avérait que c'est bien la fermeture rapide des microsites formés par

à ceux plantés dans les sillons de scarifiage, il deviendra important de vérifier si le même effet ne se produira pas dans quelques années avec le scarifiage comme mode de préparation de terrain dans les milieux ouverts sur stations sèches. En effet, les sillons de scarifiage sont aussi envahis de nouveau par la végétation de compétition, sauf que le délai est généralement beaucoup plus long, souvent de cinq ans et plus selon nos observations. Rappelons que nos résultats de croissance ont été pris trois ans après plantation. D'autre part, le rythme passablement rapide de croissance des plants mis en terre dans les parcelles scarifiées et leur densité élevée (environ 2 000 tiges à l'hectare) laissent croire que ceux-ci vont rapidement influencer la composition même de la végétation au sol, entre autres par un effet d'interception de la lumière. Si tel est le cas, la densité des lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* pourrait diminuer significativement puisqu'il s'agit d'organismes fortement héliophiles (Brodo et al. 2001). En résumé, Les résultats démontrent clairement l'obligation de préparer le terrain de façon agressive, même si le recouvrement végétatif des milieux ouverts sur station sèche apparaît souvent comme un manteau plutôt mince de lichens et de mousses transpercé par une densité fort variable de tiges d'éricacées.

### **Comparaison entre les DS scarifiés et les PNM aménagées**

La survie des plants deux ans après plantation sont comparables entre les parcelles scarifiées des deux milieux (ScDS et ScPM). Trois ans après la

significativement plus élevée que ceux plantés dans les ScDS. Le gain mesuré n'est pas encore très important au plan opérationnel, mais il pourrait le devenir si les différences annuelles observées jusqu'ici se maintenaient. De plus, la variabilité entre les individus est très élevée. Ce dernier élément confirme l'obligation que nous aurons de bien suivre ces parcelles à long terme afin de mesurer les individus qui deviendront éventuellement les dominants. Seule cette mesure donnera l'IQS de chacun des blocs pour chacun des modes de préparation de terrain. Malheureusement, des études récentes indiquent que cette mesure pourra difficilement être obtenue avant la fin de la période de croissance juvénile chez l'épinette noire, soit une période de 15 à 20 ans après plantation (Lord et al. 2005). D'ici là, le suivi par la moyenne des individus échantillonnés demeurera le meilleur indicateur.

Les contenus foliaires en nutriments des plants sont toutefois semblables et il est impossible de justifier les différences de croissance par une dynamique nutritionnelle différente entre les deux milieux. Le ratio racine/tige des plants des ScPM est inférieur à celui des parcelles ScDS, se traduisant par une plus grande proportion de biomasse aérienne dans les ScPM. La plus faible proportion de racines dans les ScPM peut laisser présager une influence moins grande de la végétation de compétition et, par le fait même, d'une plus grande disponibilité des nutriments dans le sol (Grime 1994, Canham et al. 1996, Girard 2004, Hébert et al. 2005). Cette différence entre les deux milieux, en termes d'influence de la compétition, pourrait être expliquée par un historique de perturbation

et al. 2005). Les ScPM ayant subi plus de perturbations, l'influence de végétation compétitive pourrait être plus faible en comparaison avec les ScDS. Comme le contrôle de la végétation compétitive et le niveau de perturbation est corrélé positivement dans ce type d'écosystème, l'influence de la végétation compétitive serait plus faible dans les ScPM que dans les ScDS, spécialement avec la grande capacité d'envahissement des éricacées caractéristiques de ces milieux ouverts (Mallik 1993, Brais 2001, Harvey et Brais 2002, Thiffault et al. 2004). Mais tout ceci reste à être confirmé. Notre équipe travaille présentement sur un projet dont l'un des objectifs consiste justement à étudier l'effet de perturbations répétées par de la machinerie forestière.

D'autres facteurs, non testés, pourraient aussi expliquer la différence de croissance entre les deux milieux scarifiés, comme la présence de lichens dans les DS qui ont un effet d'albédo et qui peuvent ainsi diminuer la charge radiative du milieu. Cette diminution de la charge radiative pourrait retarder le début de la saison de croissance, accentuer la possibilité de gels et limiter la croissance de plants de conifères (Kershaw et Rouse 1971, Kaspar et Bland 1992, Boucher et al. 2001).

### **Comparaison entre les deux gabarits de plants**

Les plants cultivés en récipients 126-25 présentent des taux relatifs de croissance (TRC) plus élevés que leurs équivalents cultivés en récipients 67-50.

suivant la plantation leur permet donc de diminuer graduellement l'écart de hauteur et de diamètre face aux plants 67-50. Étant donné le plus jeune âge et le stade physiologique moins avancé des plants 126-25 lors de la plantation, ceux-ci pourraient avoir une plus grande plasticité physiologique, leur permettant de s'acclimater à leur nouvel environnement plus rapidement que les plants 67-50. Les meilleurs TRC racinaire des plants 126-25 montrent que ce type de plant tend à explorer plus rapidement le sol environnant. Une expérience de simulation de plantation avec le pin gris a révélé que les plants 126-25 produisaient plus de nouvelles racines non lignifiées que les plants 67-50 (Tremblay, 2004). Si le même résultat valait pour l'épinette noire, cette particularité aurait pu être accentuée par le scarifiage étant donné les effets bénéfiques de ce traitement sur la croissance racinaire (Boucher et al. 2001). La proportion supérieure de biomasse aérienne chez les plants 126-25 pourrait être reliée indirectement à une production accrue de nouvelles racines non lignifiées et potentiellement plus efficaces. Cette quantité accrue de nouvelles racines leur procurant de meilleurs apports en eau et en nutriments, ceci résulterait en une production supérieure de biomasse aérienne.





Les premiers résultats de cette étude à long terme valident l'idée de remettre en production des milieux ouverts sur stations sèches du domaine de la pessière noire à mousses. En effet, les résultats obtenus deux et trois ans après la plantation de plusieurs sites ouverts répartis un peu partout en forêt boréale du Saguenay-Lac-St-Jean font état d'un taux de survie fort adéquat des plants, ainsi que d'une croissance appréciable. Il faut tout de même conserver à l'esprit que cette étude constitue une première étape en vue de l'identification et de l'optimisation des meilleures pratiques sylvicoles à appliquer pour la remise en production des milieux ouverts sur stations sèches (DS). D'autres études menées sur une partie du dispositif utilisé ici ont déjà permis de constater que les fonctions hydriques des plants croissant dans ces milieux, qui sont des variables critiques pour l'établissement et la croissance des plants, ne diffèrent pas de celles obtenues en pessières à mousses lorsque les terrains sont scarifiés (Hébert et al. 2005). Mais seul un suivi à long terme des dispositifs permanent installés dans le cadre de cette étude permettra de confirmer les tendances fort positives exprimées par ces premiers résultats

Il serait peut-être envisageable d'augmenter le niveau de perturbation du milieu en récoltant préalablement les DS avant de les scarifier ou encore d'employer des méthodes de préparation de terrain plus agressives afin d'augmenter le niveau de perturbation (Prévost 1996, Örlander et al. 1998, Brais 2001). Au lieu d'utiliser la taupe comme traitement alternatif au scarifiage, il serait



serait plus élevé comme, par exemple, une excavatrice munie d'un peigne. Les résultats montrent également que l'utilisation de plants issus de réceptacles 126-25 serait appropriée dans ces milieux (DS) où la compétition pour la lumière n'est pas un facteur limitant pour la croissance (Girard 2004). Finalement, le pin gris pourrait représenter une alternative intéressante pour le reboisement de certains types de milieux, surtout dans ceux situés sur des sols à drainage excessifs comme des dépôts fluvioglaciers (Hébert et al. 2005).

Les variables de survie, de croissance et de contenu foliaire en nutriments des plants mis en terre dans les DS démontrent qu'il est possible de reboiser ces territoires avec succès, du moins pour les trois premières années. De plus, les TRC obtenus à l'aide de ce dispositif situé dans des milieux considérés comme improductifs, équivalent à la croissance de certaines plantations «normales» situées dans des territoires de la pessière à mousse qualifiés de productif. Ces résultats portent donc à croire que les DS montrent un potentiel de productivité inexploité qui mériterait une attention particulière.

Étant donné leur statut particulier de milieux improductifs et/ou fragiles, les DS ne sont actuellement pas inclus dans les calculs de possibilité forestière. Il serait donc intéressant de poursuivre la recherche sur ce genre de site afin de déterminer l'impact de la remise en production de ces milieux et de pouvoir éventuellement leur attribuer une certaine productivité et les inclure dans les calculs de possibilité forestière.

En fonction des essences utilisées pour le reboisement et, en raison des superficies en cause, ces territoires représentent une avenue des plus intéressantes pour l'amélioration du rendement des forêts du Québec. En plus de contribuer au rendement forestier, la remise en production de ces sites aidera aussi au maintien de l'élément de plus significatif de la diversité biologique en forêt boréale québécoise, soit la forêt fermée d'épinette noire du vaste domaine de la pessière à mousses. Enfin, dans cette ère de protocole de Kyoto et de gaz à effet de serre, la remise en production de territoires forestiers mal régénérés pourrait représenter une avenue intéressante pour la création de puits de carbone, et ainsi permettre au Québec de contribuer encore plus à l'effort mondial de séquestration du carbone.

- Bassman, J.H. 1989. Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted *Picea engelmannii* X *glauca* seedlings. Can. J. For. Res. 19: 1359-1370.
- Bauce, E., Crépin, M., et Carisey, N. 1994. Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees. Oecologia 97: 499-507.
- Bedford, L., et Sutton, R.F. 2000. Site preparation for establishing lodgepole pine in the sub-boreal spruce zone of interior British Columbia: the Bednesti trial, 10-year results. For. Ecol. Manage. 126: 227-238.
- Boucher, J.-F., Bernier, P.Y., et Munson, A.D. 2001. Radiation and soil temperature interactions on the growth and physiology of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings. Plant Soil 236: 165-174.
- Boucher, J.F., Wetzell, S., et Munson, A.D. 1998. Leaf level response of planted eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seven years after intensive silvicultural treatments. For. Ecol. Manage. 107: 291-307.
- Bowen, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. *In* Plant roots: The hidden half. Marcel Dekker, Inc., New-York (USA). pp. 309-330.
- Bradley, R.L., Fyles, J.W., et Titus, B. 1997. Interactions between *Kalmia* humus quality and chronic low C inputs in controlling microbial and soil nutrient dynamics. Soil Biol. Biochem. 29: 1275-1283.



northwestern Quebec. Soil Sci. So. Am. Jour. 65: 1263-1271.

Brand, D.G. 1990. Growth analysis of responses by planted white pine and white spruce to changes in soil temperature, fertility and brush competition. For. Ecol. Manage. 30: 125-138.

Brodo, I.M., Sharnoff, S.D. et Sharnoff, S. 2001 Lichens of north America. 1e édition, Yale Universtiy Press, Connecticut. 828 p.

Canham, C.D., Berkowitz, A.R., Kelly, V.R., Lovett, G.M., Ollinger, S.V., et Schnurr, J. 1996. Biomass allocation and multiple resource limitation in tree seedlings. Can. J. For. Res. 26: 1521-1530.

Côté, D., 2003. Expansion des milieux ouverts à lichens dans le domaine de la pessière à mousses. Dans : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, P. Grondin et A. Cimon, coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles , de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. p. 175 à 190

Côté, D., 2004. Mise en place des landes forestières dans le domaine des forêts commerciales d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP.) et potentiel de ces milieux pour la production forestière. Chicoutimi, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 107 p.



*noire* (*Picea mariana* [Mill.] BSP.), à la suite de feux successifs. Actes du colloque : L'aménagement forestier et le feu, Chicoutimi 9 et 10 avril 2002. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts : 162.

Devore, J., et Peck, R. 1994. Introductory statistics. 2<sup>nd</sup> edition. 2<sup>nd</sup> ed. West Publishing Company, St. Paul, MN, USA.

Gagnon, R., 1988. Les mécanismes de régénération naturelle de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement. Colloque "Les mécanismes de régénération naturelle de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement". Chicoutimi, le 18 août 1988 : 1-11.

Girard, F. 2004. Remise en production des pessières à lichens de la forêt boréale commerciale : nutrition et croissance de plants d'épinette noire trois ans après traitements de préparation de terrain. Mémoire de maîtrise. UQAC. 56p.

Girard, F. 2005. Répartition spatiale et abondance de la pessière à lichens dans la zone de la forêt fermée. Conférence, Association Canadienne-Française pour l'avancement des sciences (ACFAS). Chicoutimi.

Gouvernement du Québec. 2003. règlement sur les norms d'intervention dans les forêts du domaine de l'état. Loi sur les forêts. Les publications du Québec. Gouvernement du Québec (Canada): 1-143.

*In* Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Ecophysiological processes above- and belowground. Academic Press, Inc., U.S.A. pp. 1-19.

Grossnickle, S.C., et Heikurinen, J. 1989. Site preparation: water relations and growth of newly planted jack pine and white spruce. *New For.* 3: 99-123.

Harvey, B., et Brais, S. 2002. Effects of mechanized careful logging on natural regeneration and vegetation competition in the southeastern Canadian boreal forest. *Can. J. For. Res.* 32: 653-666.

Hébert, F., Boucher, J-F., Bernier, P.Y., et Lord, D. 2005. Growth response and water relations of three-year-old planted black spruce and jack pine seedlings in site prepared lichen woodlands. *For. Ecol. Manage.* Sous révision

Hustich, I., 1965. A black spruce feather moss forest in the interior of southern Quebec-Labrador Peninsula. *Acta Geographica.* 18 : 25 p.

Hustich, I., 1966. On the forest-tundra and the forest tree-lines. Reports from the Kevo subarctic Research station. *Ann. Univ. Turku. A* 11. 36 :7-47.

Kaspar, T. C., et Bland, W. L. Soil temperature and root growth. *Soil Sci.* 154(4), 290-299. 92.

Kershaw, K.A., et Rouse, W.R. 1971. Studies on lichen-dominated systems. II The growth pattern of *Cladonia alpestris* and *Cladonia rangiferina*. *Can. J. Bot.* 49: 1401-1410.

preparation and shrub control. *Forest Sci.* 32: 61-77.

Lavoie, L. et L. Sirois, 1998. Vegetation changes caused by recent fires in the northern boreal forest of eastern Canada. *J. Veg. Sci.* 9 : 483-492.

Lord, D. Hébert, F. Boucher, J-F. et Krause, C. 2005. Phase juvenile de croissance et détermination du rendement de plantation d'épinette noire (*Picea mariana* Mill. (B.S.P.)) de la forêt boréale commerciale. Conférence, Association Canadienne-Française pour l'avancement des Sciences (ACFAS), Chicoutimi.

Lyr H., et V. Garbe 1994. Influence of root temperature on growth of *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata* and *Quercus robur*. *Trees* 9: 210-213.

Mallik, A.U. 1987. allelopathic potential of *Kalmia angustifolia* to black spruce (*Picea mariana*). *For. Ecol. Manage.* 20:43-51.

Mallik, A.U. 1993. Ecology of a forest weed of Newfoundland: vegetative regeneration strategy of *Kalmia angustifolia*. *Can.J.Bot.* 71: 161-166.

Morneau, C. et S. Payette, 1989. Postfire lichen-spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. *Can. J. Bot.* 67 : 2 770-2 782.

Munson, A.D., Margolis, H.A., et Brand, D.G. 1993. Intensive silvicultural treatment : impacts on soil fertility and planted conifer response. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 : 246-255.

improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies*-10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. Scand. J. For. Res. 13: 160-168.

Payette, S. 1992. Fire in the North American boreal forest. *In* System analysis of the global forest. Edited by H.H. Shugart, R. Leemans, and G. B. Bonan. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. pp. 144-169.

Payette, S., N. Bhiry, A. Delwaide et M. Simard, 2000. Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada : The catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest. Can. j. For. Res. 30 : 288-305.

Poorter H., et Lewis. C. 1986. Testing differences in relative growth rate: A method avoiding curve fitting and pairing. Physiol. plant. 67: 223-226.

Prévost M. 1996. Effet du scarifiage sur les propriétés du sol et l'ensemencement naturel dans une pessière noire à mousses de la forêt boréale québécoise. Can. J. For. Res. 26: 72-86.

Riverin, S. et R. Gagnon, 1996. Dynamique de la régénération d'une pessière à lichen dans la zone de la pessière noire à mousse, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec). Can.J.For.Res. 26 : 1504-1509.

Steel, R.G.D., et Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Company, New-York, U.S.A.

large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Ann. For. Sci.* 60: 645-655.

Thiffault, N., Cyr, G., Prigent, G., Jobidon, R., et Charrette, L. 2004. Régénération artificielle des pessières noires à éricacées : effets du scarifiage, de la fertilisation et du type de plants après 10 ans. *For. Chron.* 80, 141-149.

Thiffault, N., Titus, B.D. et Munson, A.D. 2005. Silvicultural options to promote seedling establishment on *Kalmia-Vaccinium*-dominated sites. *Scan. J. For. Res.* 20:110-121.

Titus, B.D., Sidhu, S.S. et Mallik, A.U. 1995. A summary of some studies on *Kalmia angustifolia* L.: A problem species in Newfoundland forestry. Information report N-X-296. St-John's NF: Service canadien des forêts, Ressources Canada.

Tremblay, P.S. 1996. Manuel de foresterie. Les presses de l'Université Laval, Québec. 1428p.

Tremblay, P. 2004. Fonctions hydriques et échanges gazeux du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) cultivés en récipients IPL 126-25 et IPL 67-50 soumis à un stress hydrique progressif. Rapport initiation recherche. UQAC. 23 pages.

Walsh, D., J. Allaire et D. Lord. 2002. Performance en plantation de plants d'épinette noire de petites dimensions: Rapport d'étape pour la période 2001-2002. Université du Québec à Chicoutimi, 26 p.

*angustifolia*, soil characteristics, and the growth and nutrition of black spruce seedlings in two boreal Newfoundland plantations of contrasting fertility. Can. J. For. Res 32: 2215-2224.

Yamasaki S. H., Fyles J. W., Egger K. N., et Titus B. D. 1998. The effect of *Kalmia angustifolia* on the growth, nutrition and ectomycorrhiza symbiont community of black spruce. For. Ecol. Manage. 105: 197-207.

Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Zhu, H., et Mallik, A.U. 1994. Interactions between *Kalmia* and black spruce: Isolation and identification of allelopathic compounds. J. Chem. Ecol. 20 : 407-421.







